

VŠB – Technická Univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Racionalizace výroby osazeného otvoru na náboji oběžného kola

Rationalization of Production of the Stepped Hole on the Impeller Hub

Student:	Michal Ševčík
Osobní číslo:	SEV0133
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Antonín Trefil, Ph.D.

Ostrava 2020

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Ševčík**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Racionalizace výroby osazeného otvoru na náboji oběžného kola**
Rationalization of Production of the Stepped Hole on the Impeller Hub
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Popis stávající technologie výroby.
3. Návrh racionalizace výroby.
4. Technicko-ekonomické vyhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

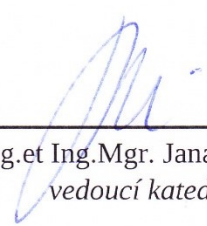
BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Antonín Trefil, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020.



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі, że Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li považováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020.

Gerák

.....
podpis studenta

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠEVČÍK, M. *Racionalizace výroby osazeného otvoru na náboji oběžného kola: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské technologie, 2020, 46 s. Vedoucí práce: Ing. Antonín Trefil, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem racionalizace výroby osazeného otvoru na náboji oběžného kola. V úvodu je popsána současná technologie výroby. Na základě popisu stávající technologie je navržena racionalizace výroby. Mnou navržena racionalizace výroby spočívá ve změně řezného nástroje. Použitím zpětného záhlubníku je dosaženo vyšších řezných parametrů za současného snížení výrobních nákladů a strojního času. Na závěr je provedeno technicko-ekonomické vyhodnocení spolu s potřebnými výpočty.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠEVČÍK, M. *Rationalization of Production of the Stepped Hole on the Impeller Hub: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2020, 46 s. Thesis leader: Ing. Antonín Trefil, Ph.D.

The bachelor thesis deals with the proposal of rationalization of production of the stepped hole on the impeller hub. The introduction describes current production technology. Based on the description of the existing technology is proposed rationalization of production. The rationalization of production I propose consist in changing the cutting tool. Using the back spot facing tool is achieved the higher cutting parametres, while the production costs are reduced. The final part includes technical and economical evaluation with the necessary calculations.

Obsah

Seznam použitých zkratk	7
1 Úvod	9
1.1 Představení společnosti	10
1.2 Jednotlivá průmyslová odvětví VHM	11
1.3 Teorie zahlubování	12
1.3.1 Geometrie záhlubníků	13
1.3.2 Řezné podmínky pro záhlubníky	13
1.3.3 Popis kinematiky metody	14
1.3.4 Základní vztahy a strojní čas	14
2 Popis stávající technologie výroby	16
2.1 Popis součásti	16
2.2 Materiál součásti	16
2.2.1 Chemické složení	17
2.2.2 Mechanické vlastnosti	17
2.2.3 Tepelné zpracování	17
2.3 Volba stroje	18
2.4 Upnutí součásti	20
2.5 Používané řezné nástroje	21
2.6 Technologický postup	22
3 Návrh racionalizace výroby	23
3.1 Návrh vhodných nástrojů	23
3.1.1 Zpětné záhlubníky Autofacer	25
3.1.2 Zpětný záhlubník Autofacer pro zahloubení průměru 60 mm	28
3.1.3 Zpětný záhlubník Autofacer pro zahloubení průměru 180 mm	29
3.1.4 Postup při operaci zpětného zahlubování nástrojem Autofacer	30
3.2 Návrh přívodu procesní kapaliny	32
4 Technicko – ekonomické vyhodnocení	33
4.1 Porovnání spotřeby času	33
4.2 Porovnání spotřeby nákladů	38
4.3 Porovnání pořizovacích nákladů nástrojů	41
4.4 Porovnání celkových úspor časů a nákladů obou technologií	42
5 Závěr	43
6 Seznam použité literatury	45

Seznam použitých zkratek

A	- prodloužení	[%]
CNC	- Computer Numeric Control	[-]
D	- průměr nástroje	[mm]
E	- emulze	[-]
HB	- zkouška tvrdosti podle Brinella	
HSS	- High Speed Steel	[-]
HV	- zkouška tvrdosti podle Vickerse	[MPa]
KCU	- vrubová houževnatost	[kJ·m ⁻²]
L	- vzduch	[-]
NC	- Numeric Control	[-]
N_{ta}	- náklady na strojní čas	[Kč]
N_{tb}	- náklady na vedlejší čas	[Kč]
N_{tc}	- náklady na strojní a vedlejší časy	[Kč]
N_U	- celková úspora nákladů pro všechny operace	[Kč]
N_{U1}	- úspora nákladů pro opracování průměru 60 mm za otvorem 30 mm	[Kč]
N_{U2}	- úspora nákladů pro opracování průměru 180 mm za otvorem 105 mm	[Kč]
O	- řepkový olej	[-]
P_v	- počet výměn nástroje	[-]
PVD	- fyzikální depozice vrstev	[-]
R	- poloměr	[mm]
R_e	- mez pevnosti	[N·mm ⁻²]
R_m	- pevnost v tahu	[N·mm ⁻²]
SNO	- stroj nástroj obrobek	[-]
T_U	- celková časová úspora pro všechny operace	[min]
T_{U1}	- časová úspora pro opracování pro průměru 60 mm za otvorem 30 mm	[min]
T_{U2}	- časová úspora pro opracování průměru 180 mm za otvorem 105 mm	[min]
U_c	- celková úspora času	[%]
VHM	- Vítkovice Heavy Machinery a.s.	[-]
VVER	- vodo-vodní energetický reaktor	[-]
Z	- smrštění	[%]

a_p	- hloubka řezu	[mm]
d	- předvrtaná díra	[mm]
e	- excentricita	[mm]
f	- posuv na otáčku nástroje	[mm]
f_z	- posuv na břit nástroje	[mm]
hl	- hloubka otvoru	[mm]
n	- počet otáček nástroje	[min ⁻¹]
t_{ac}	- výrobní čas	[min]
t_{as}	- strojní čas	[min]
t_{asl}	- opracování všech otvorů	[min]
t_b	- vedlejší čas	[min]
t_{bv}	- suma vedlejších časů	[min]
t_{NT}	- součet všech spotřeb časů u nové technologie	[min]
t_{ST}	- součet všech spotřeb časů u stávající technologie	[min]
v_c	- řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
v_f	- posuvová rychlost	[m·min ⁻¹]
z	- počet zubů nástroje	[-]
α_0	- normálový úhel hřbetu hlavního břitu	[°]
γ_f	- úhel šroubovice vedlejšího ostří	[°]
γ_o	- normálový úhel čela hlavního břitu	[°]
γ_p	- normálový úhel čela vedlejšího břitu	[°]
κ_r	- úhel nastavení řezné hrany	[°]
π	- Ludolfovo číslo	[3,14]

1 Úvod

V každé výrobní technologii neustále klademe nové požadavky na zvyšování produktivity, přesnosti, jakosti, efektivity, spolehlivosti apod. Produktivita je jedním z důležitých parametrů, na jejichž základě lze technologie mezi sebou srovnávat. Třískové obrábění si z pohledu produktivity neustále udržuje významné postavení, neboť je schopno zajistit všechny výše uvedené požadavky i pro velmi přesné dílce.

Stále více výrobních podniků trápí časy pro přestavení výrobních linek. Jedná se o dobu, která zahrnuje čas na odstranění starého nářadí a přípravků, nastavení nového nářadí a doladění parametrů procesů až po výrobu prvního kusu. Aby nevznikaly prostoje a tím neproduktivní časy, je cílem dosáhnout co možná nejkratšího času.

Tato bakalářská práce je zaměřena na racionalizaci technologie výroby osazeného otvoru na náboji oběžného kola pro společnost VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. (dále jen VHM).

V úvodní kapitole představím společnost VHM. V první části práce se budu zabývat teoretickými poznatky z oboru zahlučování. Ve druhé části je popsán stávající technologický postup včetně používaných nástrojů a stroje pro obrábění a následně je navržen nový technologický postup a řezné nástroje. Na základě předpokládaných řezných podmínek je provedeno technické a ekonomické vyhodnocení včetně úspor na nově navržené technologii.

Mnou navržená racionalizace bere v úvahu stávající strojní vybavení a parametry strojů. Pro zvolenou technologii a nástrojové vybavení jsou parametry strojů dostačující a nehrozí další následné investice.

1.1 Představení společnosti

VHM je tradiční česká společnost, jejíž vznik se odvozuje od počátků hutnictví ve Vítkovicích. Společně s rozhodnutím o založení železáren v roce 1828 olomouckým arcibiskupem Rudolfem Janem, začala vznikat ve Vítkovicích také strojírna, která vyráběla parní stroje, mosty, železniční vagony, důlní nástroje či stroje pro hutě.¹

Za více než 190 let existence těžkého strojírenství v Ostravě si společnost vybudovala impozantní pověst partnera s globálním dosahem, jehož vize a zkušenosti v oblasti těžkého strojírenského průmyslu a energetiky ovlivňují nejen české průmyslové prostředí, ale také významně zasahují do investic a rozvojových projektů v celosvětovém měřítku.¹

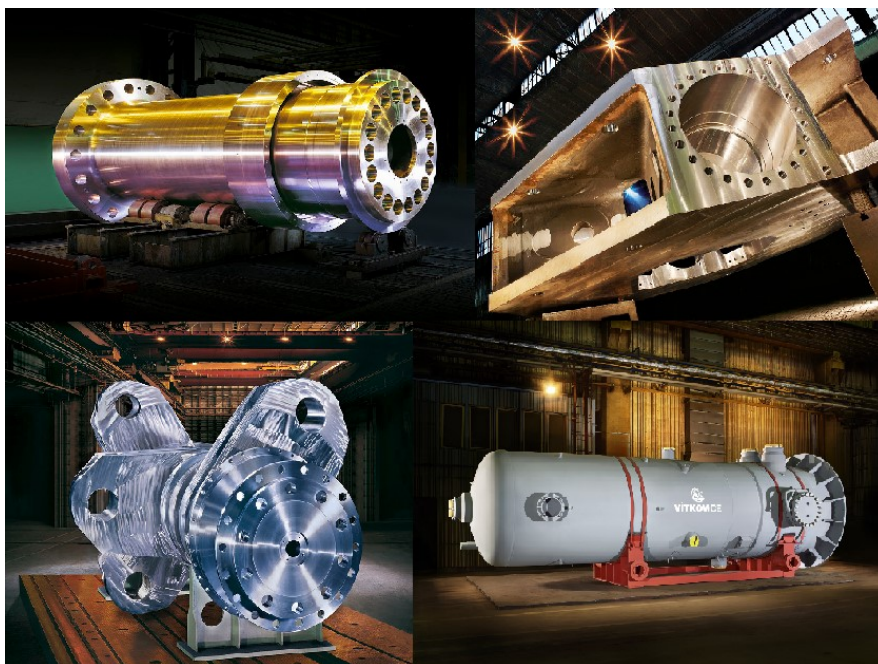
Výrobní portfolio společnosti zahrnuje díky vlastní výrobě oceli produkty pro široké spektrum průmyslových oborů – od dodávek kompletních engineeringových řešení pro ocelárny, válcovny, speciální zařízení těžkého průmyslu, nebo povrchové doly, přes odlitky a přesně opracované výkovky pro energetiku, lodní, ocelářský, cementářský a těžební průmysl, až po dodávky surových ingotů, kovaných tyčí anebo také válcovaných obručí pro železniční a tramvajovou dopravu.¹



Obrázek 1.1 – letecký pohled na firmu VHM¹

1.2 Jednotlivá průmyslová odvětví VHM

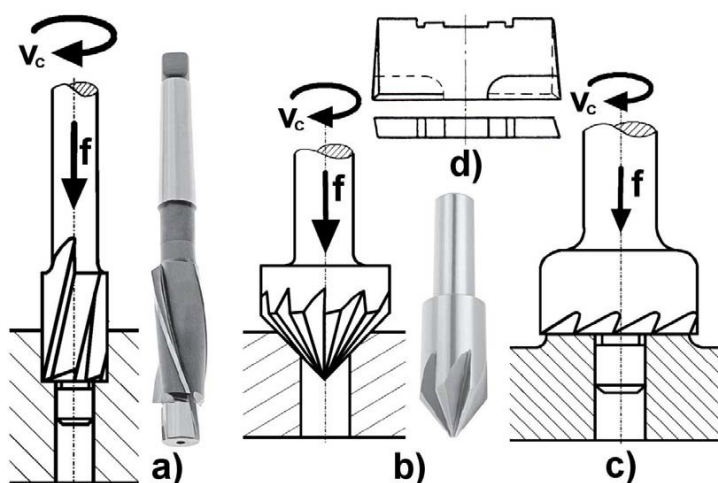
- **Jaderná energetika** – VHM se za 40 let v oboru jaderné energetiky podílelo na dodávkách komponent zejména pro reaktory typu VVER – jmenovitě VVER-440 V213 a VVER-1000 V320. Komponenty vyrobené ve VHM najdeme v jaderných elektrárnách po celém světě. Od devadesátých let vyrábí společnost díly i pro jaderné elektrárny západního typu.²
- **Vodní a větrná energetika** – prvním z hlavních typů vyráběných hřídelí jsou monoblokové hřídele do hmotnosti 80 tun. Druhým vyráběným typem jsou svařované hřídele, které mohou být s využitím unikátní technologie „svařování do úzké mezery“ vyráběny až do hmotnosti přesahující 150 tun.³
- **Ocelárny, válcovny a tvářeni kovů** – mezi hlavní dodávané výrobky patří různé typy stojanů, struskové pánve, většina druhů válců – od poutních, hladkých až po opěrné a hydraulické, pro tvářecí stroje pak všechny typy traverz, horní a spodní berany, excentrické hřídele a mnoho dalších prvků.⁴
- **Lodní díly** – tradice výroby dílů pro lodní dopravu sahá až do roku 1897. Od této doby lodní program nepřetržitě tvoří nedílnou součást výrobního portfolia společnosti. Další silnou oblastí jsou dodávky kormidlových systémů a jejich částí, jako jsou například kormidlové čepy a kmeny, kormidlové pně, nosiče kormidel a díly kormidlových ploutví.⁵



Obrázek 1.2 – hlavní sortiment výroby VHM a.s.^{2,3,4,5}

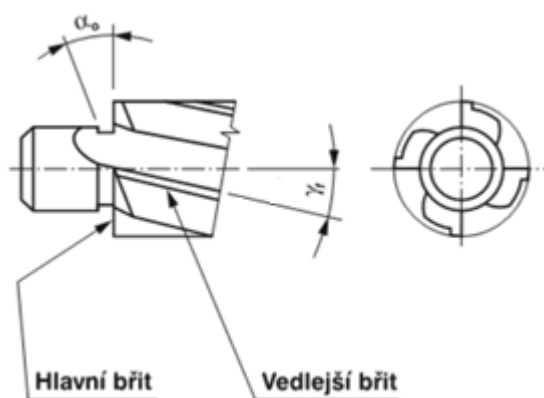
1.3 Teorie zahlubování

Zahlubování slouží k obrobení souosého válcového (obrázek č. 1.3a) nebo kuželového zahloubení děr (obrázek č. 1.3b) pro válcové nebo kuželové hlavy zapuštěných šroubů. Za zahlubování se považuje i zarovnávání čelní plochy (obrázek č. 1.3c), kde lze použít i ploché dvoubřité záhlubníky (obrázek č. 1.3d), upnuté ve vybrání tělesa nástroje. V souladu s uvedenou technologickou specifikací lze záhlubníky rozdělit na válcové (stopkové nebo nástrčné), kuželové a ploché. Válcové a ploché záhlubníky jsou vedeny v předvrtané díře vodícím čepem, kuželové záhlubníky mají samostředící efekt, a proto vodící čep většinou nemají. Zuby záhlubníků (obvykle čtyři, u kuželových záhlubníků na zkosení hran 6÷10) jsou vyrobeny frézováním nebo podsoustružením a mohou být přímé, nebo v pravé šroubovici. Řezná část záhlubníků je vyrobena z rychlořezné oceli, případně ze slinutého karbidu (bez povlaku i s otěruvzdornými povlaky), nebo ji tvoří vyměnitelné břitové destičky.⁶

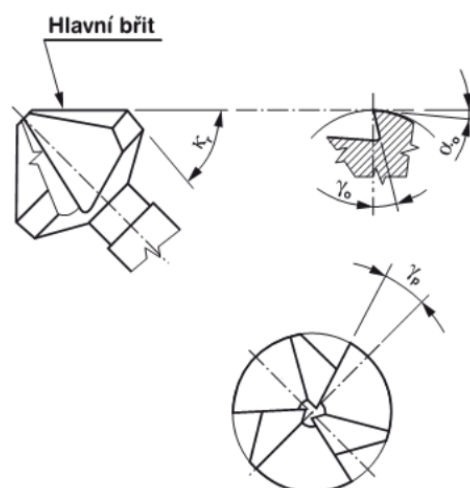


Obrázek 1.3 – způsoby zahlubování a základní druhy záhlubníků⁶

1.3.1 Geometrie záhlubníků



Obrázek 1.4 – válcový záhlubník⁷



Obrázek 1.5 – kuželový záhlubník⁷

κ_r – úhel nastavení řezné hrany

α_0 – normálový úhel hřbetu hlavního břitu

γ_f – úhel šroubovice vedlejšího ostří

γ_0 – normálový úhel čela hlavního břitu

γ_p – normálový úhel čela vedlejšího břitu

1.3.2 Řezné podmínky pro záhlubníky

Ve většině případů se jedná o monolitní nástroje (materiál je HSS) a tak se i řezná rychlost pohybuje v rozmezí od – do v závislosti na materiálu obrobku.

V tabulce č. 1.3 se nachází doporučené řezné podmínky pro záhlubníky dle ČSN 221604, 221605, 221623, 221624, 221625, 221626, 221627, 221628, 221650.

Tabulka č. 1.3 – doporučené řezné podmínky pro nástroje firmy STIM ZET⁸

Materiál	pevnost [Mpa]	Chlazení	Řezná rychlost [m·min ⁻¹]	Posuv s [mm] pro øD záhlubníku [mm]							
				4	6	10	16	20	25	40	63
Nelegovaná ocel	<500	E	30÷25	0,07	0,09	0,12	0,14	0,16	0,20	0,25	0,35
	<700	E	26÷22	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	0,22	0,30
	<900	E	22÷16	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	0,25
Legovaná ocel	<800	E	20÷15	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18
	<1000	E	15÷10	ručně	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16
Korozivzdorná ocel	<850	O	9÷4	ručně	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,12	0,14
Šedá litina	<200 HB	E/L	20÷15	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,32
	>200 HB	E/L	13÷9	0,06	0,07	0,08	0,12	0,16	0,20	0,25	0,28
Temperovaná litina	<300 HB	E	13÷9	0,06	0,07	0,08	0,12	0,16	0,20	0,25	0,28
Titan a jeho slitiny	<850	O	4÷9	ručně	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18
Al a jeho slitiny - tvářené	<450	E	70÷50	0,10	0,12	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,40
Al pro odlévání <10%Si	<600	E	40÷25	0,10	0,12	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,40
>10%Si	<600	E	30÷10	0,10	0,12	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,40
Elektrolyt. měď Cu >99%	<400	E/O	32÷25	0,06	0,07	0,09	0,12	0,14	0,16	0,18	0,22
Mosaz - krátká tliská	<600	E	60÷40	0,10	0,12	0,14	0,18	0,20	0,24	0,30	0,40
- dlouhá tliská	<600	E	45÷30	0,10	0,12	0,14	0,18	0,20	0,24	0,30	0,40
Bronz	<600	E/O	24÷10	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,24	0,30
Umělá hmota - termoset	<300	L	25÷12	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25

V tabulce č. 1.4 se nachází doporučené řezné podmínky pro záhlubníky dvoubřité (nože) dle ČSN 221655, 221657

Tabulka č. 1.4 – doporučené řezné podmínky pro nástroje firmy STIM ZET ⁸

Materiál	Chlazení	Řezná rychlost [m·min ⁻¹]	Posuv s [mm] pro øD záhlubníku [mm]		
			40	75	100
Ocel	E/O	20÷10	0,10	0,10	0,12
Litina	E/L	30÷14	0,13	0,15	0,18
Barevné kovy	E/O	55÷20	0,13	0,15	0,18
Lehké kovy	E	60÷25	0,12	0,13	0,14

E – emulze

O – řepkový olej

L – vzduch

1.3.3 Popis kinematiky metody

Hlavní řezný pohyb je rotační pohyb ve směru nástroje, řezná rychlost je obvodová rychlost nástroje. Posuv ve směru osy vykonává obvykle nástroj a je vázán na otáčky nástroje.

1.3.4 Základní vztahy a strojní čas

- Řezná rychlost:
$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

kde: v_c ... řezná rychlost [m·min⁻¹]

π ... Ludolfovo číslo [3,14]

D ... průměr nástroje [mm]

n ... počet otáček nástroje [min⁻¹]

- Posuvová rychlost:
$$v_f = 10^{-3} \cdot f \cdot n \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2)$$

kde: v_f ... posuvová rychlost [m·min⁻¹]

f ... posuv na otáčku nástroje [mm]

n ... počet otáček nástroje [min⁻¹]

- Posuv na břit nástroje:
$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

kde: f_z ... posuv na břit nástroje [mm]
 f ... posuv na otáčku nástroje [mm]
 z ... počet zubů nástroje [-]

- Hloubka řezu:
$$a_p = \frac{D - d}{2} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

kde: a_p ... hloubka řezu [mm]
 D ... průměr nástroje [mm]
 d ... předvrtaný otvor [mm]

- Strojní čas:
$$t_{as} = \frac{hl}{v_f} \quad [\text{min}] \quad (5)$$

kde: t_{as} ... strojní čas [min]
 hl ... hloubka otvoru [mm]
 v_f ... posuvová rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

2 Popis stávající technologie výroby

Výroba osazeného otvoru na náboji oběžného kola patří mezi finální části opracování. Samotný proces je zajišťován na horizontální vyvrtávačce WT200 HB-CNC s upínacím kuželem ISO 60 a nástroji pospanými v kapitole 2.4.

2.1 Popis součásti

Jedná se o náboj Kaplanovy turbíny pro vodní elektrárnu. Výkresová dokumentace je součástí duševního a průmyslového vlastnictví firmy VHM jako taková nemůže být zveřejněna.



Obrázek 2.1 – náboj kaplanovy turbíny s vyvrtanými otvory

2.2 Materiál součásti

Náboj je odlitý ve VHM z nízkolegované oceli dle Ruského označení 08 GDNFL. Označení dle ruských standardních norem: GOST 977-88 a chemické označení: 08MnCuHV. Celková čistá hmotnost náboje je 43 850 kg.

2.2.1 Chemické složení

Tabulka č. 2.1 uvádí základní chemické složení materiálu 08MnCuHV v %.

Tabulka č.2.1 – chemické složení ⁹

	C %	Si %	Mn %	Ni%	S%	P%	V%	Cu%
Min.		0,15	0,6	1,15				0,8
Max.	0,1	0,4	1	1,55	0,035	0,035	0,1	1,2

2.2.2 Mechanické vlastnosti

V tabulce č. 2.2 jsou uvedeny základní mechanické vlastnosti materiálu.

Tabulka č. 2.2 – základní mechanické vlastnosti ⁹

Název	Značka	Jednotka
Pevnost v tahu	Rm	441 N · mm ⁻²
Mez pevnosti	Re	343 N · mm ⁻²
Prodloužení	A	18 %
Smrštění	Z	30 %
Vrubová houževnatost	KCU	49 kJ · m ⁻²

2.2.3 Tepelné zpracování

Hodnoty tepelného zpracování materiálu 08MnCuHV jsou uvedeny v tabulce č. 2.3.

Tabulka č. 2.3 – hodnoty tepelného zpracování ⁹

Normalizační žihání	920 – 950°C
Popouštění	590 – 650°C
Chlazení	Na vzduchu

2.3 Volba stroje

Opracování osazeného otvoru je realizováno na horizontální vyvrtávačce s označením WT200 HB-CNC s řídicím systémem HEIDENHAIN a s plynule řízeným NC stolem (S80A) od výrobce ŠKODA PLZEŇ. Horizontální vyvrtávačka WT200 HB-CNC s upnutým nábojem, (viz obrázek č. 2.3). Vzhledem k tomu, že stroj disponuje dostatečnými parametry pro použití navrhované technologie bude použit i v návrhu pro racionalizaci výroby.

Strojní skupina 64365/12

Vysvětlení firemního označení:

- 6 – hotovni horizontální vyvrtávačka pro opracování otvorů
- 4365 – stroj WT200 HB-NC
- 12 – středisko



Obrázek 2.3 – horizontální vyvrtávačka ŠKODA PLZEŇ s nábojem Kaplanovy turbíny

Parametry stroje a řízeného NC stolu

Parametry stroje a řízeného NC stolu jsou uvedeny dle podnikových dokumentů a jsou uvedeny v tabulce č. 2.4

Tabulka č. 2.4 – technické parametry stroje a řízeného NC stolu

Horizontální vyvrtávačka WT200 HB-CNC	
Průměr vřetena	200 mm
Upínací kužel ve vřetenu	ISO 60
Rozměr pinoly (šířka x výška)	520x520 mm
Max. krouticí moment ve vřetenu	8 800 Nm
Zvýšený krouticí moment při pr. příruby 190 mm	15 700 Nm
Max. krouticí moment na fréz. vřetenu	35 00 Nm
Otáčky vřetena plynule v rozsahu	0,8÷820 min ⁻¹
Posuvy vřetena z pinoly	1 ÷ 3 000 mm·min ⁻¹
Posuv vřeteníku	1 ÷ 6 000 mm·min ⁻¹
Posuv stojanu	1 ÷ 5 000 mm·min ⁻¹
Rychloposuvy vřetena a pinoly	3 000 mm·min ⁻¹
Výkon hlavního pohonu	77 kW
Otočný stůl S80A	
Rozměry upínací desky	4 000x4 000 mm
Výška stolu od základny k upínací ploše	1 430 mm
Výška stolu nad podlahou dílny	570 mm
Délka základního lože	6 000 mm
Šířka vedení	2 600 mm
Pojezd stolu po základním loži	2 000 mm
Nosnost stolu	60 000 kg

2.4 Upnutí součásti

Upnutí součásti (náboje kaplanovy turbíny) je velice důležité z hlediska tuhosti upnutí potažmo celé soustavy SNO (stroj, nástroj, obrobek).

Upnutí součásti musí být:

- rychlé,
- přesné,
- dostatečně tuhé,
- jednoduché (vzhledem k rozmanitosti obráběné součásti).

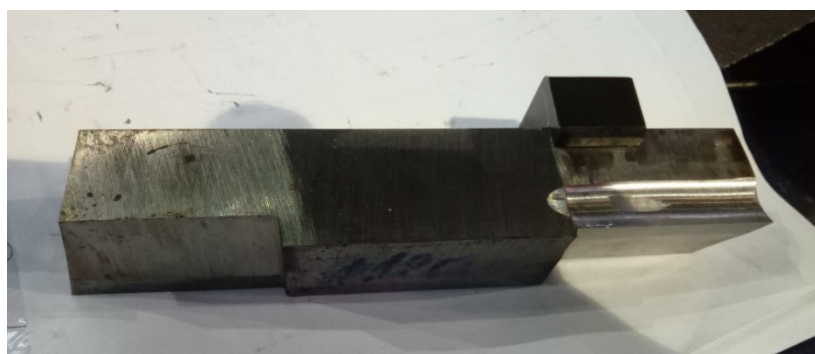
Těmto požadavkům vyhovovalo upnutí pomocí vidlicovitých zešikmených upínek DIN 6315. Upínka se položí na nejnižší místo drážky, nasadí se upínací šroub, popřípadě se ještě upínka podepře dalším zařízením pro větší stabilitu. Aby se mohlo co nejlépe dobře manipulovat s nábojem, tak se pod náboj přidali po celém obvodu podpůrné kostky z oceli.



Obrázek 2.4 – pohled na upnutí a podepření oběžného kola

2.5 Používané řezné nástroje

Pro zahlubování osazených otvorů jsou používány zahlubovací nástroje skládající se ze soustružnického nože a držáku ve formě hřídele s drážkou pro upnutí nože (viz obrázek č. 2.6). Hřídel je ukončena Morse kuželem pro upnutí do upínače. Použité zahlubovací nástroje jsou pro průměry 60 mm za otvory o průměru 30 mm a pro průměry 180 mm za otvory o průměru 105 mm, které slouží ve spojení s držákem pro zahlubování velkých průměrů. Materiál je nástrojová rychlořezná ocel (HSS). Z důvodu symetrického zatížení, jednoduchého a rychlého ustavení je provedení voleno jako dvoubřité.



Obrázek 2.5 – zahlubovací nůž pro průměr 180 mm (ČSN 221655)



Obrázek 2.6 – sada zahlubovacích nožů pro průměr 60 mm se zajišťovacím šroubem, hřídelí a redukčním pouzdrem s Morse kuželem

V tabulce 2.5 jsou uvedeny řezné parametry pro zahlubovací nůž pro opracování průměru 60 mm za otvorem 30 mm a průměru 180 mm za otvorem 105 mm.

Tabulka č. 2.5 – řezné parametry nástrojů

Zahlubovací nůž pro průměr 60 mm	
Řezná rychlost	10 m·min ⁻¹
Doporučený posuv na břit	0,1 mm
Zahlubovací nůž pro průměr 180 mm	
Řezná rychlost	10 m·min ⁻¹
Doporučený posuv na břit	0,12 mm

Zvolený typ nástrojů neumožňoval přívod procesní kapaliny středem. Z toho důvodu bylo voleno vnějšího přívodu. Kvůli komplikovanému přístupu k místu řezu musela být procesní kapalina přivedena hadicí k řezné části nástroje přes osový otvor náboje.

2.6 Technologický postup

V první části výrobního procesu se odléváním zhotovil polotovar požadovaných rozměrů s přídavky na obrábění. Prvotní opracování odlitku se provádělo metodou třískového obrábění na karuselu a horizontální vyvrtávače. Po této operaci se vyfrézovali do náboje drážky a následně se vyvrtaly otvory požadovaného průměru.

Jakmile měla součást vyvrtané otvory, začalo se s výrobou osazených otvorů. Osazení na náboji se zhotovilo technologií vrtání na horizontální vyvrtávače. Náboj se upnul do středu otočného stolu tak, aby osa otáčení byla shodná s osou obrobku. Pro operaci náboje na horizontální vyvrtávače se zvolil následující postup: každý osazený otvor byl hotově opracován ihned na konečný rozměr – všemi dostupnými nástroji.

Nevýhodou technologického postupu byl velký nárůst vedlejších časů při výměně všech potřebných nástrojů. Operátor musel nejdříve zajet s držákem na nástroj do vyvrtaného otvoru, následně vystoupal pomocí hliníkového žebříku (viz obrázek č.2.7) na součást a posléze slezl dovnitř do dutiny součásti. Dále nasadil zahlubovací nůž na držák, za aretoval zajišťovacím šroubem, a nakonec se vrátil ke svému stroji a začal obrábět.



Obrázek 2.7 – hliníkový žebřík pro přístup do dutiny součásti

3 Návrh racionalizace výroby

Při navrhování nové technologie „výroby osazeného otvoru na náboji oběžného kola“ jsem vycházel ze stanovených cílů výroby. Výsledkem musela být taková technologie výroby, která povede ke snížení času potřebného k výrobě součástí, dále maximální zvýšení produktivity za minimálních investic a vše s využitím stávajícího strojního vybavení podniku VHM.

Navrhovanou technologii budu posuzovat z hlediska:

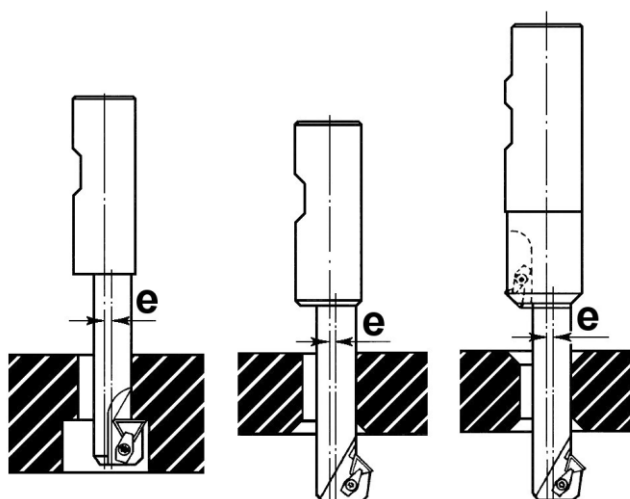
- úspory strojních časů,
- úspory strojních nákladů,
- požadovaných výrobních tolerancí.

3.1 Návrh vhodných nástrojů

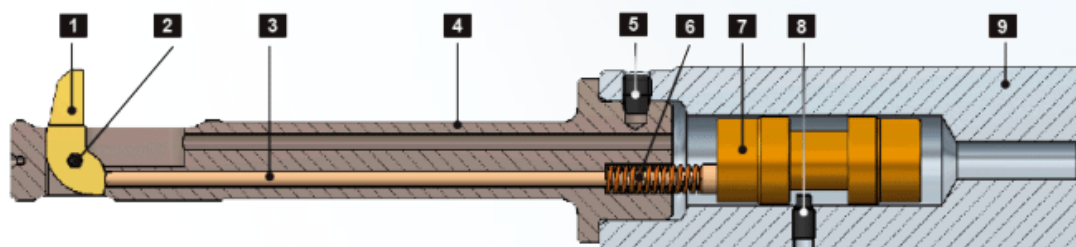
Při výběru vhodných nástrojů jsem vycházel ze současné výroby, kde probíhalo tzv. zpětné zahlubování s manuálním nastavením nástroje na každý záběr. Po doporučení od technologa a vedoucího bakalářské práce, jsem se rozhodl zaměřit na nové směry v progresivním obrábění v oblasti zahlubování často nepřístupných místech.

Na trhu existuje široká škála těchto nástrojů. Nejpoužívanější typem je speciální záhlubník, u něhož je těleso s řeznou částí umístěno vůči upínací stopce excentricky. Po zasunutí nástroje do předvrtané díry dojde k přesunu obrobku ve směru kolmém k ose vřetena obráběcího stroje a po spuštění rotace vřetena je pomocí zpětného osového posuvu vytvořeno požadované zahloubení. Výrobce toho způsobu zpětného zahlubování je například švédská firma Granlund.⁶

Zajímavou konstrukci má zpětný záhlubník švýcarské firmy Heule Tool, který využívá vyklopení nože díky aktivačním otáčkám vřetene a jeho zasunutí díky tlaku procesní kapaliny. Při zasouvání je nůž zasunut do vybrání díky působení řídicího čepu, který je pod tlakem procesní kapaliny a působí na plochu nože. Během pohybu do vybrání se pohybuje tlačná plocha ze záběru s řídicím čepem. Ten je stále pod tlakem procesní kapaliny a dostane se do kontaktu se zaoblením na noži. V zasunutém stavu drží řídicí čep nůž v jeho poloze. Po vypnutí procesní kapaliny je nůž vyklopen ze zasunuté polohy do pracovní pozice díky roztočení vřetena. Přes odlehčovací otvor je zajištěn přívod procesní kapaliny na nůž. Po skončení pracovního posuvu se musí nástroj vrátit do spodní výchozí pozice za obrobek. Poté je prostřednictvím procesní kapaliny nůž zasunut do lůžka v nástroji.¹⁰



Obrázek 3.1 – zpětné záhlubníky s excentricitou od švédské firmy Granlund ⁶



1. Nůž BSF 2. Čep 3. Řídící čep 4. Těleso nože 5. Upínací šroub 6. Tlačná pružina 7. Píst 8. Seřizovací šroub 9. Upínací stopka

Obrázek 3.2 – popis částí zpětného záhlubníku švýcarské firmy Heule Tool ¹⁰

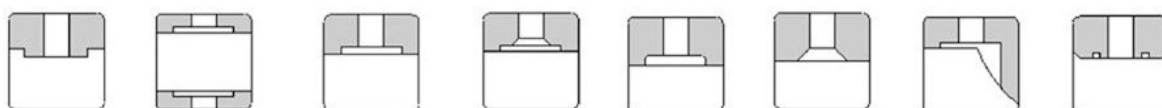
Pro výrobu osazení na náboji oběžného kola jsem se rozhodl použít zpětné záhlubníky Autofacer od americké firmy Steiner Technologies, Inc. osazené vyměnitelnými noži s pájenými karbidovými břity taktéž od stejnojmenné firmy.



Obrázek 3.3 – zpětné záhlubníky Autofacer ¹¹

3.1.1 Zpětné záhlubníky Autofacer

Autofacer je obráběcí nástroj určený k vytvoření zpětného zahloubení. Umožňuje se dostat na zadní stranu obrobku přes otvor a vytvořit zde rotační tvar. Rotační tvar vytvořený nástrojem Autofacer může být kruhová plocha, válcové zahloubení, zkosení, sférická plocha nebo jejich kombinace. Využívá se na těžko dostupných místech, na obrobkách s velkým počtem otvorů i ve velkosériové výrobě. Řezná část nástroje je sklopena do těla pilotního trnu, po průchodu otvorem se řezná část mechanicky vyklopí a nástroj může začít obrábět. Po dokončení požadované operace se řezná část opět sklopí a nástroj vyjede z obrobku.¹²



Obrázek 3.4 – možnost použití nástrojů Autofacer¹³

Dvě základní řady Autofacer:¹²

- standartní řada Autofacer – ostří se vyklápí radiálně (max. průměr zahloubení je omezen průměrem těla nástroje – až 2,2 násobek),
- řada Autofacer s prodlouženým rozsahem – ostří se vyklápí axiálně.



Obrázek 3.5 – vlevo standartní řada Autofacer a v pravo řada Autofacer s prodlouženým rozsahem¹²

Pro vyklopení pracovního ostří z těla nástroje a zaklopení se používají různé aktivační mechanismy (aktivace kuželem, setrvačником, tyčí, procesní kapalinou).¹²

Pracovní ostří může být s pájenými karbidovými břity nebo s vyměnitelnými karbidovými destičkami.¹²

Výhody použití tohoto nástroje:¹²

- je k dispozici v několika různých konfiguracích pro použití na všech typech obráběcích strojů: CNC i konvenčních, ve vertikální i horizontální poloze,
- umožňuje zkrátit čas obrábění až o 80 % ve srovnání s ostatními konvenčními postupy,
- zjednodušuje obráběcí procesy a snižuje náklady obrábění vyloučením vedlejších operací,
- je navržen pro vysoké řezné rychlosti a relativně malé posuvy,
- je schopen provádět obtížné přerušované řezy, například v turbíně generátoru,
- většina modelů Autofacer lze osadit vyměnitelnými karbidovými destičkami.¹²

Pro výrobu osazení na náboji oběžného kola se zvolila standartní řada Autofacer s aktivací pomocí kuželu – pilotní trn nástroje projde otvorem a v horní části trnu je umístěn aktivační kužel, jehož zatlačením o čelo otvoru dojde k vyklopení pracovního ostří a zapne se vnitřní chlazení. Pro obrobení otvoru průměru 60 mm s průchozím otvorem o průměru 30 mm bylo zvoleno pracovní ostří s pájenými karbidovými břity. Pro obrobení otvoru průměru 180 mm s průchozím otvorem o průměru 105 mm bylo zvoleno pracovní ostří s vyměnitelnými karbidovými destičkami. Použité řezné nástroje byly povlakovány vrstvou nitridu titanu (dále jen TiN).

Povlak TiN

Povlak na bázi TiN patří vzhledem na svoje vyrovnané vlastnosti k nejvíce používaným povlakům. TiN povlak vykazuje nízkou reakci s kovovými materiály, a tak zabraňuje opotřebení nástrojů. Tyto povlaky zlaté barvy v kombinaci s vysokou abrazivní odolností se používá i pro účely povlakování forem, střižných nástrojů a dekorativních povlakování.¹⁴

Mezi vlastnostmi povlaku patří:¹⁴

- vysoká tvrdost,
- dobrá adheze,
- dobrá chemická stabilita,
- zvýšená houževnatost,
- relativně nízká tepelná vodivost.

Tabulka 3.1 – charakteristika povlaku TiN ¹⁴

Tvrдост	2300±200 HV
Max. pracovní teplota	500 °C
Koeficient tření vůči oceli	0,6
Tloušťka povlaku	1 ÷ 4 μm
Barva	zlatá

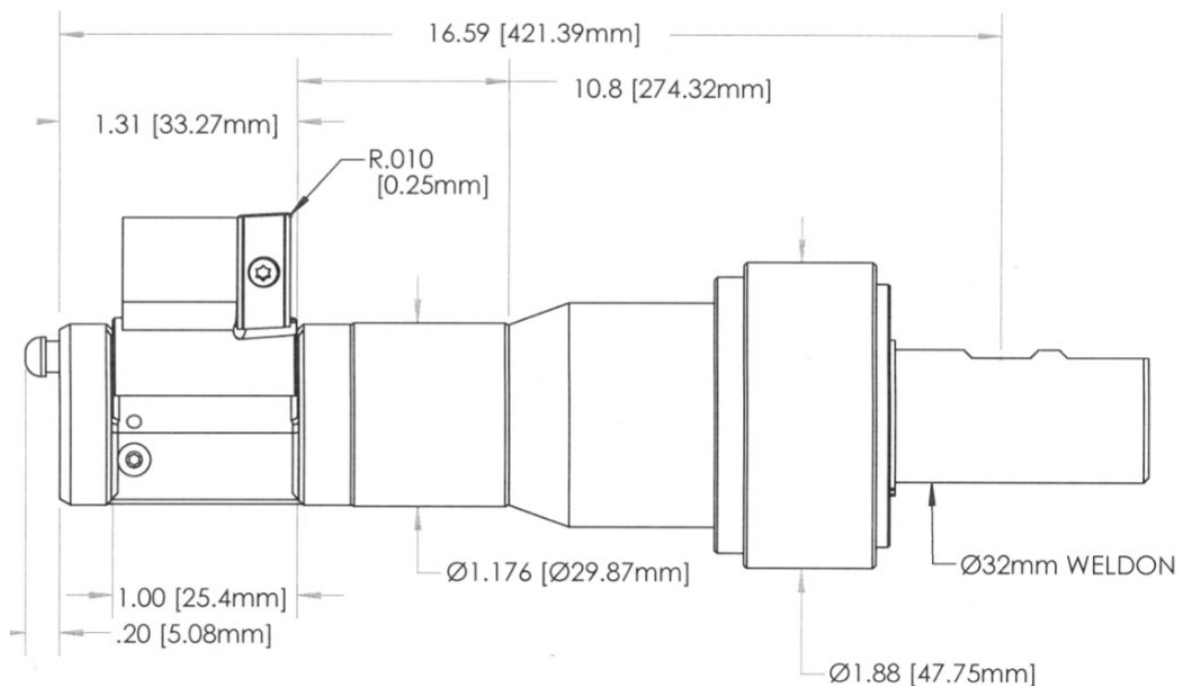
Proces povlakování výhradně probíhá na PVD (fyzikální depozice vrstev) technologii. Technologie PVD je založena na principu generace plazmatu hořením obloukového či doutnavého výboje v atmosféře pracovních plynů ve vakuové komoře. Prostřednictvím výboje dochází k erozi pevného materiálu různého prvkového složení a jeho reakcí s reaktivními plyny v komoře a následnému růstu požadovaného typu vrstvy/povlaku na vloženém substrátu – nástroji/dílci.¹⁵



Obrázek 3.6 – pracovní ostří s pájeným karbidovým břitem pro průměr 60 mm

3.1.2 Zpětný záhlubník Autofacer pro zahloubení průměru 60 mm

Pro výrobu osazení na náboji oběžného kola byl zvolen zpětný záhlubník Autofacer pro opracování průměru 60 mm za otvorem o průměru 30 mm s válcovou stopkou Weldon 32.



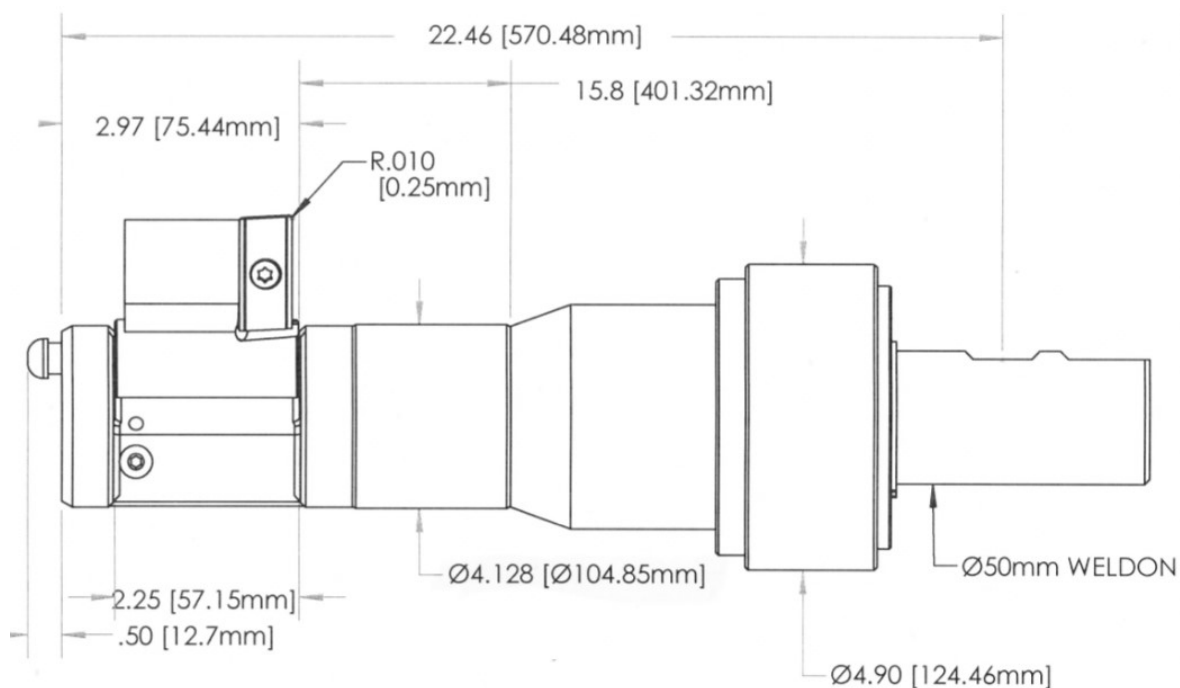
Obrázek 3.7 – zpětný záhlubník Autofacer pro zahloubení průměru 60 mm

Tabulka 3.2 – Základní parametry zpětného záhlubníku pro zahloubení průměru 60 mm

Autofacer série	2300
Aktivační metoda vyklopení	Aktivace čelním dotykem
Průměr předvrtané díry	Ø 30,00±0,08 mm
Průměr pro osazení	Ø 59,99±0,25 mm
Doporučený posuv na otáčku nástroje	0,064÷0,089 mm
Doporučený počet otáček nástroje	485 min ⁻¹
Potřebný výkon	3,95 kW
Tahové zatížení	5 331 N
Přívod procesní kapaliny	Vnitřní

3.1.3 Zpětný záhlubník Autofacer pro zahloubení průměru 180 mm

Pro výrobu osazení na náboji oběžného kola jsem zvolil zpětný záhlubník Autofacer pro opracování průměru 180 mm za otvorem o průměru 105 mm s válcovou stopkou Weldon 50.



Obrázek 3.8 – zpětný záhlubník Autofacer pro zahloubení průměru 180 mm

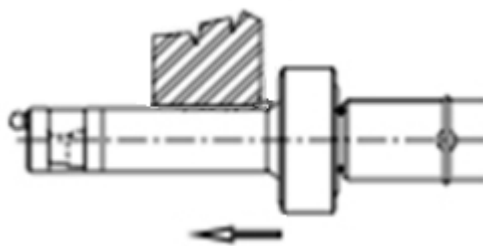
Tabulka 3.3 – Základní parametry zpětného záhlubníku pro zahloubení průměru 180 mm

Autofacer série	2300
Aktivační metoda vyklopení	Aktivace čelním dotykem
Průměr předvrtané díry	Ø 104,98±0,08 mm
Průměr pro osazení	Ø 180,01±0,25 mm
Doporučený posuv na otáčku nástroje	0,1÷0,127 mm
Doporučený počet otáček nástroje	162 min ⁻¹
Potřebný výkon	15,59 kW
Tahové zatížení	19 945 N
Přívod procesní kapaliny	Vnitřní

3.1.4 Postup při operaci zpětného zahlubování nástrojem Autofacer

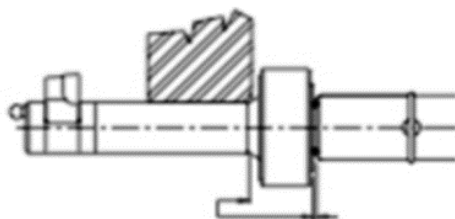
Níže uvádím postup jednotlivých operací při zpětném zahlubování nástrojem Autofacer. Dále je také graficky znázorněn na obrázcích č. 3.9 až 4.5.

1. Vnitřní procesní kapalina je vypnutá. Záhlubník při maximálních otáčkách 100min^{-1} a pravé rotaci vřetene projede rychloposuvem otvorem, dokud se aktivujícím kuželem nedotkne obrobku (viz obrázek č. 3.9).¹⁶



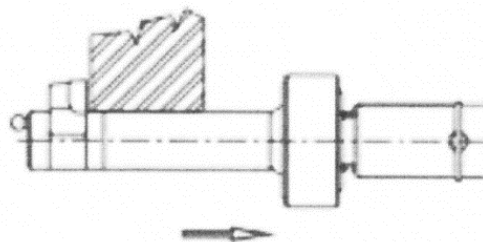
Obrázek 3.9 – projetí nástroje do otvoru ¹⁶

2. Čelní kužel je stlačen o 1,5 mm a je změněn směr otáček vřetene. Nástroj vyklopí nůž do řezné polohy. V tuto chvíli je možné zapnout vnitřní přívod procesní kapaliny (viz obrázek č. 4.1).¹⁶



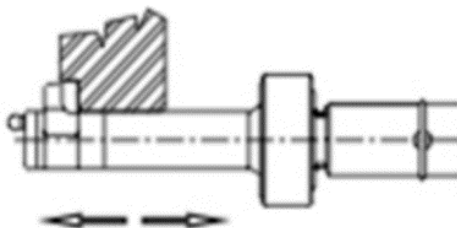
Obrázek 4.1 – aktivace čelního kuželu ¹⁶

3. Nástrojem se přijede rychloposuvem zpět k obráběnému povrchu (viz obrázek č. 4.2).¹⁶



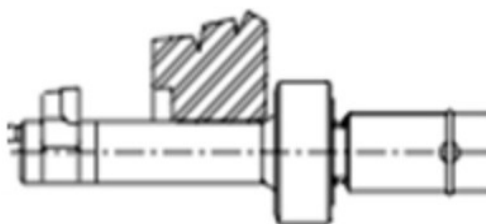
Obrázek 4.2 – příjezd k obráběnému povrchu ¹⁶

4. Nástroj obrábí při doporučených řezných podmínkách a zpětném posuvu. Je doporučena krátká prodleva při dosažení požadované hloubky, aby povrch řezu byl hladký a čistý (viz obrázek č. 4.3).¹⁶



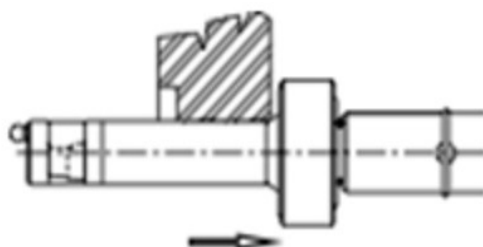
Obrázek 4.3 – proces obrábění osazení ¹⁶

5. Na konci obrábění se sníží otáčky na 100 min^{-1} . Nyní nástroj jede rychloposuvem tak, aby se dotkl čelem kuželu obrobku. V tuto chvíli je třeba vypnout přísuv procesní kapaliny a změnit směr otáček vřetene na pravé (viz obrázek č. 4.4).¹⁶



Obrázek 4.4 – aktivace čelního kuželu ¹⁶

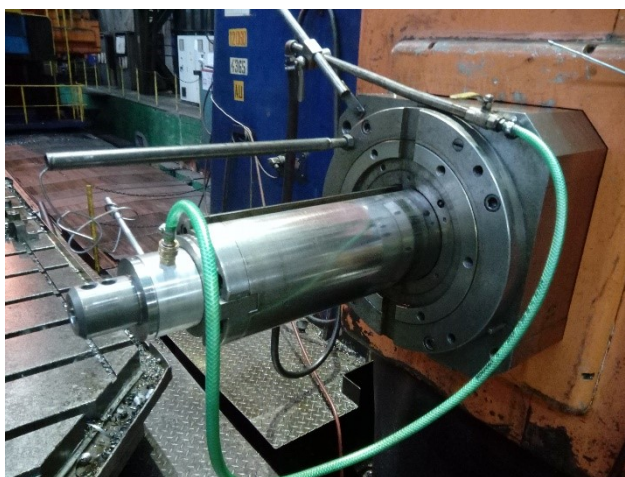
6. S nástrojem je možné v tuto chvíli vyjet rychloposuvem z obrobku (viz obrázek č. 4.5).¹⁶



Obrázek 4.5 – vyjetí nástroje z otvoru ¹⁶

3.2 Návrh přívodu procesní kapaliny

Jelikož navrhované nástroje jsou konstruovány pro přívod procesní kapaliny středem nástroje a tomuto konvenčnímu obráběcímu stroji chyběl systém vnitřního přívodu, muselo se navrhnout zařízení, které by zpřístupnilo cestu procesní kapaliny přes střed nástroje. K tomu nám pomohl upínač navržený a vyráběný firmou VMsystem. Tyto upínače jsou určeny k přívodu chladicího média, emulze nebo olejové mlhy do středu nástrojů na strojích, které nejsou tímto přívodem vybaveny již od výrobce. Umožňují tak nasazení moderních obráběcích nástrojů a plné využití jejich parametrů i na starších strojích. Tím přispívají ke zvýšení produktivity práce starších strojů. Významným faktorem je díky dokonalému odstranění třísek z míst řezu i podstatné snížení opotřebení břitů nástrojů a dosažení úspor za broušení a vyměnitelné břitové destičky.



Obrázek 4.6 – pohled na upínač s přívodem chladicího média

Všechny upínače pro přívod procesní kapaliny, nebo olejové mlhy jsou pro zajištění maximální životnosti osazeny kvalitními válivými ložisky a speciálními vitonovými guferý.



Obrázek 4.7 – upínač s kuželem ISO 60

4 Technicko – ekonomické vyhodnocení

V této kapitole jsou vyčísleny úspory, náklady na stroj a náklady na jednotlivé nástroje pro stávající technologii i pro navrženou technologii.

Technologické pracoviště určené k výrobě otvorů na náboji je dostačující. Nástroje určené k výrobě splnily řezné parametry udávané výrobcí. Pro ekonomické vyhodnocení bude počítáno s náklady na výrobu 1 kusu náboje a s pořizovacími náklady na nově navržených nástrojů.

Výrobní náklady na stroji WT200 HB-CNC byly počítány s režijní sazbou 1200 Kč/hod. Režijní sazbu jsem zvolil s ohledem na velikost a přesnost stroje.

4.1 Porovnání spotřeby času

Porovnání spotřeby času se stavoví na základě zjednodušeného výpočtu dle řezných parametrů. Uvádím zde jen zjednodušený výpočet pro opracování průměru 60 mm za otvorem o průměru 30 mm (celkem 12 otvorů) a pro opracování průměru 180 mm za otvorem o průměru 105 mm (celkem 60 otvorů). Výchozí řezné parametry doporučené pro stávající technologii jsou uvedeny v kapitole 2.5 a výchozí řezné parametry doporučené výrobcem pro navrženou technologii jsou uvedeny v kapitole 3.1.2 a 3.1.3.

Stávající technologie – nástroje pro průměr 60 mm za otvorem 30 mm

Velikost hloubky osazení s náběhem 75 mm.

Počet otáček nástroje:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 10}{\pi \cdot 60} = 53,05 \quad [\text{min}^{-1}] \quad (6)$$

Posuvová rychlost:

$$v_f = f \cdot n = 0,1 \cdot 53,05 = 5,3 \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (7)$$

Strojní čas pro pracování 1 otvoru:

$$t_{as} = \frac{hl}{v_f} = \frac{75}{5,3} = 14,15 \quad [\text{min}] \quad (8)$$

Opracování všech otvorů:

$$t_{as1} = t_{as} \cdot 12 = 14,15 \cdot 12 = 169,8 \quad [\text{min}] \quad (9)$$

kde: t_{as1} ... opracování všech otvorů [min]

Výpočet vedlejšího času:

$$t_b = P_v \cdot t_{bv} = 12 \cdot 20 = 240 \quad [\text{min}] \quad (10)$$

kde: t_b ... vedlejší čas [min]

P_v ... počet výměn nástroje [-]

t_{bv} ... suma vedlejších časů [min]

Výpočet výrobního času:

$$t_{ac} = t_{as1} + t_b = 169,8 + 240 = 409,8 \quad [\text{min}] \quad (11)$$

kde: t_{ac} ... výrobní čas [min]

Navržená technologie – nástroje pro průměr 60 mm za otvorem 30 mm

Velikost hloubky osazení s náběhem 75 mm.

Počet otáček nástroje:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 80}{\pi \cdot 60} = 424,41 \quad [\text{min}^{-1}] \quad (12)$$

Posuvová rychlost:

$$v_f = f \cdot n = 0,07 \cdot 424,41 = 29,70 \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (13)$$

Strojní čas pro pracování 1 otvoru:

$$t_{as} = \frac{hl}{v_f} = \frac{75}{29,70} = 2,52 \quad [\text{min}] \quad (14)$$

Opracování všech otvorů:

$$t_{as1} = t_{as} \cdot 12 = 2,52 \cdot 12 = 30,24 \quad [\text{min}] \quad (15)$$

Výpočet vedlejšího času:

$$t_b = P_v \cdot t_{bv} = 1 \cdot 20 = 20 \quad [\text{min}] \quad (16)$$

Výpočet výrobního času:

$$t_{ac} = t_{as1} + t_b = 30,24 + 20 = 50,24 \quad [\text{min}] \quad (17)$$

Porovnání výrobních časů pro opracování průměru 60 mm za otvorem 30 mm jsou uvedena v tabulce č. 4.1.

Tabulka č. 4.1 – porovnání spotřeby času

	Stávající technologie	Navržená technologie
$t_{as} \text{ [min]}$	14,15	2,52
$t_{as1} \text{ [min]}$	169,8	30,24
$t_b \text{ [min]}$	240	20
$t_{ac} \text{ [min]}$	409,8	50,24
Úspora [min]	359,56	

Spotřeba času s použitím zpětného záhlubníku Autofacer pro opracování průměru 60 mm za otvorem 30 mm se snížila o 359,6 min, jak je uvedeno v tabulce č. 4.1.

Stávající technologie – nástroje pro průměr 180 mm za otvorem 105 mm

Velikost hloubky osazení s náběhem 215 mm.

Počet otáček nástroje:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 10}{\pi \cdot 180} = 17,68 \quad [\text{min}^{-1}] \quad (18)$$

Posuvová rychlost:

$$v_f = f \cdot n = 0,12 \cdot 17,68 = 2,12 \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (19)$$

Strojní čas pro pracování 1 otvoru:

$$t_{as} = \frac{hl}{v_f} = \frac{215}{2,12} = 101,41 \quad [\text{min}] \quad (20)$$

Opracování všech otvorů:

$$t_{as1} = t_{as} \cdot 60 = 101,41 \cdot 60 = 6\,084,6 \quad [\text{min}] \quad (21)$$

Výpočet vedlejšího času:

$$t_b = P_v \cdot t_{bv} = 60 \cdot 20 = 1\,200 \quad [\text{min}] \quad (22)$$

Výpočet výrobního času:

$$t_{ac} = t_{as1} + t_b = 6\,084,6 + 1\,200 = 7\,284,6 \quad [\text{min}] \quad (23)$$

Navržená technologie – nástroje pro průměr 180 mm za otvorem 105 mm

Velikost hloubky osazení s náběhem 215 mm.

Počet otáček nástroje:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 90}{\pi \cdot 180} = 159,15 \quad [\text{min}^{-1}] \quad (24)$$

Posuvová rychlost:

$$v_f = f \cdot n = 0,1 \cdot 159,15 = 15,92 \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (25)$$

Strojní čas pro zpracování 1 otvoru:

$$t_{as} = \frac{hl}{v_f} = \frac{215}{15,92} = 13,51 \quad [\text{min}] \quad (26)$$

Opracování všech otvorů:

$$t_{as1} = t_{as} \cdot 60 = 13,51 \cdot 60 = 810,3 \quad [\text{min}] \quad (27)$$

Výpočet vedlejšího času:

$$t_b = P_v \cdot t_{bv} = 2 \cdot 20 = 40 \quad [\text{min}] \quad (28)$$

Výpočet výrobního času:

$$t_{ac} = t_{as1} + t_b = 810,3 + 40 = 850,3 \quad [\text{min}] \quad (29)$$

Porovnání výrobních časů pro opracování průměru 180 mm za otvorem 105 mm jsou uvedena v tabulce č. 4.2.

Tabulka č. 4.2 – porovnání spotřeby času

	Stávající technologie	Navržená technologie
t_{as} [min]	101,41	13,51
t_{asl} [min]	6 084,6	810,3
t_b [min]	1 200	40
t_{ac} [min]	7 284,6	850,3
Úspora [min]	6 434,3	

Spotřeba času s použitím zpětného záhlubníku Autofacer pro opracování průměru 180 mm za otvorem 105 mm se snížila o 6 434,3 min, jak je uvedeno v tabulce č. 4.2.

Celková časová úspora pro všechny operace:

$$T_U = T_{U1} + T_{U2} = 359,56 + 6\,434,3 = 6\,793,86 \quad [\text{min}] \quad (30)$$

kde: T_U ... celková časová úspora pro všechny operace [min]

T_{U1} ... časová úspora pro opracování průměru 60 mm za otvorem 30 mm [min]

T_{U2} ... časová úspora pro opracování průměru 180 mm za otvorem 105 mm [min]

Celková časová úspora jak pro opracování průměru 60 mm za otvorem 30 mm, tak pro opracování průměru 180 mm za otvorem 105 mm je 6 793,86 min.

4.2 Porovnání spotřeby nákladů

Základní hodinové sazby, platné v podniku VHM pro jednotlivé strojní skupiny jsou uvedeny v Kč/hod.

Výrobní náklady na stroji WT200 HB-NC jsou počítány s režijní sazbou 1 200 Kč/hod.

Stávající technologie – nástroje pro průměr 60 mm za otvorem 30 mm

Náklady na strojní opracování:

$$Nt_A = \frac{t_{as1}}{60} \cdot 1\,200 = \frac{196,8}{60} \cdot 1\,200 = 3\,396 \quad [\text{Kč}] \quad (31)$$

kde: N_{tA} ... náklady na strojní čas [Kč]

Náklady na vedlejší časy:

$$Nt_B = \frac{t_b}{60} \cdot 1\,200 = \frac{240}{60} \cdot 1\,200 = 4\,800 \quad [\text{Kč}] \quad (32)$$

kde: N_{tB} ... náklady na vedlejší čas [Kč]

Celkové náklady:

$$Nt_C = Nt_A + Nt_B = 3\,396 + 4\,800 = 8\,196 \quad [\text{Kč}] \quad (33)$$

kde: N_{tC} ... náklady na strojní a vedlejší časy [Kč]

Nově navržená technologie – nástroje pro průměr 60 mm za otvorem 30 mm

Náklady na strojní opracování:

$$Nt_A = \frac{t_{as1}}{60} \cdot 1\,200 = \frac{30,24}{60} \cdot 1\,200 = 605 \quad [\text{Kč}] \quad (34)$$

Náklady na vedlejší časy:

$$Nt_B = \frac{t_b}{60} \cdot 1\,200 = \frac{20}{60} \cdot 1\,200 = 400 \quad [\text{Kč}] \quad (35)$$

Celkové náklady:

$$Nt_C = Nt_A + Nt_B = 605 + 400 = 1\,005 \quad [\text{Kč}] \quad (36)$$

Porovnání výrobních nákladů pro opracování průměru 60 mm za otvorem 30 mm jsou uvedena v tabulce č. 4.3.

Tabulka č. 4.3 – porovnání spotřeby nákladu

	Stávající technologie	Navržená technologie
N_{tA} [Kč]	3 396	604,8
N_{tB} [Kč]	4 800	400
N_{tc} [Kč]	8 196	1 005
Úspora [Kč]	7 191,2	

Spotřeba nákladu s použitím zpětného záhlubníku Autofacer pro opracování průměru 60 mm za otvorem 30 mm se snížila o 7 191,2 Kč, jak je uvedeno v tabulce č. 4.3.

Stávající technologie – nástroje pro průměr 180 mm za otvorem 105 mm

Náklady na strojní opracování:

$$Nt_A = \frac{t_{as1}}{60} \cdot 1\,200 = \frac{6084,6}{60} \cdot 1\,200 = 121\,692 \quad [\text{Kč}] \quad (37)$$

Náklady na vedlejší časy:

$$Nt_B = \frac{t_b}{60} \cdot 1\,200 = \frac{1200}{60} \cdot 1\,200 = 24\,000 \quad [\text{Kč}] \quad (38)$$

Celkové náklady:

$$Nt_C = Nt_A + Nt_B = 121\,692 + 24\,000 = 145\,692 \quad [\text{Kč}] \quad (39)$$

Nově navržená technologie – nástroje pro průměr 180 mm za otvorem 105 mm

Náklady na strojní opracování:

$$Nt_A = \frac{t_{as1}}{60} \cdot 1\,200 = \frac{810,3}{60} \cdot 1\,200 = 16\,206 \quad [\text{Kč}] \quad (40)$$

Náklady na vedlejší časy:

$$Nt_B = \frac{t_b}{60} \cdot 1\,200 = \frac{40}{60} \cdot 1\,200 = 800 \quad [\text{Kč}] \quad (41)$$

Celkové náklady:

$$Nt_C = Nt_A + Nt_B = 16\,206 + 800 = 17\,006 \quad [\text{Kč}] \quad (42)$$

Porovnání výrobních nákladů pro opracování průměru 180 mm za otvorem 105 mm jsou uvedena v tabulce č. 4.4.

Tabulka č. 4.4 – porovnání spotřeby nákladu

	Stávající technologie	Navržená technologie
N_{tA} [Kč]	121 692	16 206
N_{tB} [Kč]	24 000	800
N_{tc} [Kč]	145 692	17 006
Úspora [Kč]	128 686	

Spotřeba nákladu s použitím zpětného záhlubníku Autofacer pro opracování průměru 180 mm za otvorem 105 mm se snížila o 128 686 Kč, jak je uvedeno v tabulce č. 4.4.

Celková úspora nákladů pro všechny operace:

$$N_U = N_{U1} + N_{U2} = 7\,191,2 + 128\,686 = 135\,877,2 \quad [\text{Kč}] \quad (43)$$

kde: N_U ... celková úspora nákladů pro všechny operace

N_{U1} ... úspora nákladů pro opracování průměru 60 mm za otvorem 30 mm

N_{U2} ... úspora nákladů pro opracování průměru 180 mm za otvorem 105 mm

Celková úspora nákladů jak pro opracování průměru 60 mm za otvorem 30 mm, tak pro opracování průměru 180 mm za otvorem 105 mm je 135 877,2 Kč.

4.3 Porovnání pořizovacích nákladů nástrojů

Pořizovací náklady na všechny nástroje pro stávající technologii byly podle odhadu technologa v přepočtu na 80 000 Kč.

Pořizovací náklady na všechny nástroje pro navrženou technologii jsou uvedeny v tabulce č. 4.5 a 4.6.

Tabulka č. 4.5 – náklady na nástroj pro opracování průměru 60 mm za otvorem 30 mm

Popis	Počet kusů	Cena [Kč]
Nástroj pro zpětné zahloubení s výklopnými noži pro opracování průměru 60 mm za otvorem průměru 30 mm	1	65 420
Vyměnitelný nůž s pájenou karbidovou řeznou hranou pro opracování průměru 60 mm	4	13 032
Kit náhradních dílů pro nabídnutý nástroj	2	7 728
Cena celkem		86 180

Tabulka č. 4.6 – náklady na nástroj pro opracování průměru 180 mm za otvorem 105 mm

Popis	Počet kusů	Cena [Kč]
Nástroj pro zpětné zahloubení s výklopnými noži pro opracování průměru 180 mm za otvorem průměru 105 mm	1	325 000
Nůž pro vyměnitelné destičky pro nástroj pro opracování průměru 180 mm	10	49 000
Kit náhradních dílů pro nabídnutý nástroj	2	7 728
Cena celkem		381 728

Pořizovací náklady na všechny nástroje pro navrženou technologii jsou v přepočtu na 467 908 Kč.

Protože pořizovací náklady na nástroje pro navrženou technologii mnohonásobně převyšují pořizovací náklady na nástroje u stávající technologie, nebude dále cena zahrnována do porovnání celkových úspor nákladů.

Návratnost investice je po zhotovení 4 kusů nábojů Kaplanovy turbíny (viz tab. č. 4.7)

Tabulka č. 4.7 – návratnost investice v počtech kusů

Počet kusů	Úspora [Kč]	Návratnost [Kč]
1	135 877	– 332 031
2	271 754	– 196 154
3	407 631	– 602 277
4	543 508	75 600

4.4 Porovnání celkových úspor časů a nákladů obou technologií

V tabulce č. 4.8 je uveden součet spotřeby času a spotřeby nákladů všech operací pro jeden kus.

Tabulka č. 4.8 – součet spotřeby času a spotřeby nákladů všech operací

	Strojní čas [min]	Náklady [Kč]
Stávající technologie	7 694,4	153 888
Navržená technologie	900,54	18 011
Úspora	6 793,86	135 877

Porovnání všech operací je patrné, že mnou navržená technologie přinese snížení nákladů na opracování osazení na náboji.

Porovnání celkových úspor časů a nákladů obou technologií na náboji Kaplanovy turbíny lze zjistit dle zjednodušeného výpočtu. Jelikož v navržené technologii byl použit stejný stroj jako u stávající technologie, výsledek bude stejný jak u porovnání úspor času, tak i u porovnání úspor nákladů. Pro výpočet jsem si zvolil porovnání úspor času.

Porovnání celkové úspory času:

$$U_c = 100 - \left(\frac{t_{NT}}{t_{ST}} \cdot 100 \right) = 100 - \left(\frac{900,54}{7\,694,4} \cdot 100 \right) = 88,29 \quad [\%] \quad (44)$$

kde: U_c ... celková úspora času [%]

t_{NT} ... součet všech spotřeb časů u nové technologie [min]

t_{ST} ... součet všech spotřeb časů u stávající technologie [min]

Z výše uvedeného výpočtu vyplývá snížení nákladů pro opracování osazení na náboji Kaplanovy turbíny o 88 % oproti stávající technologii. Záhlubníky pro zpětné zahlubování s automatickým vyklopením řezné části jsou progresivnější.

5 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo provedení racionalizace výroby osazeného otvoru na náboji oběžného kola pro VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. s cílem snížit čas a náklady výroby. Vycházelo se ze současného strojního parku, v úvahu proto přicházela především změna technologie obrábění použitých řezných nástrojů.

V úvodu práce je popsáno představení společnosti a popsány základní informace z oblasti technologie zahlubování. Ve druhé části je popsán materiál, který se používá k výrobě nábojů Kaplanovy turbíny. Dále současná výroba s rozбором výrobních strojů, použitých nástrojů a technologický postup.

V části návrhu racionalizace výroby se zabývám návrhem nových nástrojů pro zpětné zahlubování. Výsledkem návrhu byla nově navržená technologie zpětného zahlubování, která spočívá v zakoupení zpětného záhlubníku s automatickým vyklopením řezné části typu Autofacer vyrobené americkou firmou Steiner Technologies, Inc. Následně jsou porovnány výrobní časy a náklady pro stávající a nově navrženou technologii. Návratnost počáteční investice do zpětných záhlubníků Autofacer je zohledněna při výrobě 4 ks nábojů Kaplanovy turbíny.

Z nově navržené technologie vyplívají následující závěry:

- úspora strojních časů na výrobu až o 88 %,
- úspora strojních nákladů na výrobu,
- dosažení požadovaných výrobních tolerancí.

Úspory na 1 kusu náboje Kaplanovy turbíny:

- výrobní čas - 6 794 min,
- výrobní náklady - 135 877 Kč.

Nová technologie využívá stávající strojní zařízení výrobního parku a je technologií progresivnější. Zavedením nové technologie se značně urychlila výroba. Cíl mé bakalářské práce byl splněn.

Poděkování

Poděkování bych chtěl vyjádřit zaměstnancům firmy VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. za ochotnou spolupráci, odborné rady, materiální a technickou pomoc při tvorbě práce.

Zvláštní poděkování patří vedoucímu bakalářské práce Ing. Antonínu Trefilovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při její tvorbě.

Také chci poděkovat mé rodině za jejich neocenitelnou podporu, kterou mi poskytovali po celou dobu studia.

6 Seznam použité literatury

- [1] PROFIL A HISTORIE SPOLEČNOSTI. *VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.* [online]. Copyright © 2020, VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: <https://vhm.company/profil-a-historie-spolecnosti>
- [2] JADERNÁ ENERGETIKA. *VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.* [online]. Copyright © 2020, VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: <https://vhm.company/jaderna-energetika>
- [3] VODNÍ A VĚTRNÁ ENERGETIKA. *VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.* [online]. Copyright © 2020, VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: <https://vhm.company/vodni-a-vetrna-energetika>
- [4] OCELÁRNY, VÁLCOVNY A TVÁŘENÍ KOVŮ. *VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.* [online]. Copyright © 2020, VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: <https://vhm.company/ocelarny-valcovny-a-tvareni-kovu>
- [5] LODNÍ PRŮMYSL. *VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.* [online]. Copyright © 2020, VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: <https://vhm.company/lodni-prumysl>
- [6] BRYCHTA, Josef. *Nové směry v progresivním obrábění* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, [2008] [cit. 2020-03-27]. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [7] Technické názvosloví výstružníků, výhrubníků a záhlubníků STIMZET. *STIMZET nástroje na otvory* [online] [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/data/technicke_nazvoslovi_vystr_cz.html
- [8] Doporučené řezné podmínky pro zahlubování. *STIMZET nástroje na otvory* [online] [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/data/rezne_podminky_zahlubniky_cz.html
- [9] 08GDNFL / 08ГДНФЛ Casting alloy steel for general purposes. *Марочник сталей и сплавов: Database of steels and alloys (Marochnik)* [online]. Copyright © [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: http://www.splav-kharkov.com/en/e_mat_start.php?name_id=240

- [10] BSF – Nástroje pro čelní zahlubování, zpětné zahlubování, zpětné srážení hrany, zpětné odjehlování, zahlubování, srážení hrany | CRS tools s.r.o. *CRS tools s.r.o. nástroje pro opracování otvorů, závitování* [online]. Copyright © Copyright 2008 [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: <http://crstools.cz/zpetne-zahlubovani/bsf/>
- [11] Autofacer® - Steiner Technologies. *World's Leader in Reverse Machining – Steiner Technologies – Steiner Technologies* [online]. Copyright © 2020 By Steiner Technologies [cit.27.03.2020]. Dostupné z: <https://www.steiner technologies.com/back-counterboring-tools/autofacer/>
- [12] Nástroje Olomouc. *Autofacer – nástroje pro zpětné zahlubování* [online] [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: http://www.nastroje-o.cz/zp_zahl/autof/autofacer.htm
- [13] Octopustools – zpětné zahlubování, oboustranné zahloubení, příruby, armatury, hlavy šroubů. *OctopusTools – valčekovanie, ryhovanie, vrubkovanie, valčekovacie, ryhovacie, vrúbkovacie nástroje, šest'hrany, otočné stoly, spätné zrážanie hrán, spätné zahĺbenie* [online]. Copyright © OCTOPUSTOOLS s. r. o. 2017 [cit.27.03.2020]. Dostupné z: https://www.octopustools.sk/zpetne_zahlubovani_new/zpetne_zahlubovaniNewI.php
- [14] Povlaky | ProTech Coating Service, s.r.o. . *LOŽISKÁ | NÁRADIE* [online]. Dostupné z: <http://www.commercservice.sk/--29-102-tin>
- [15] PVD povlakování - - Ionbond Czechia, s.r.o.. *Povlakování - Ionbond Czechia, s.r.o.* [online]. Copyright © 2020 Provozováno službou [cit. 13.05.2020]. Dostupné z: <https://povlakovani-ionbond.cz/pvd-povlaky>
- [16] OctopusTools – valčekovanie, ryhovanie, vrubkovanie, valčekovacie, ryhovacie, vrúbkovacie nástroje, šest'hrany, otočné stoly, spätné zrážanie hrán, spätné zahĺbenie. *OctopusTools – valčekovanie, ryhovanie, vrubkovanie, valčekovacie, ryhovacie, vrúbkovacie nástroje, šest'hrany, otočné stoly, spätné zrážanie hrán, spätné zahĺbenie* [online]. Copyright © OCTOPUSTOOLS s. r. o. 2017 [cit.27.03.2020]. Dostupné z: https://www.octopustools.sk/zpetne_zahlubovani_new/dotykyk.php